DIE SCHALENSTRUKTUR VON HELIX POMATIA

INAUGURAL-DISSERTATION
ZUR ERLANGUNG DER DOKTORWÜRDE
DER HOHEN PHILOSOPHISCHEN FAKULTÄT
DER UNIVERSITÄT MARBURG

VORGELEGT

VON

WILHELM FLÖSSNER
AUS WIESBADEN

ACAD. LUGD. BAT.

MIT 33 FIGUREN IM TEXT

MARBURG
1915

Von der philosophischen Fakultät als Dissertation angenommen
am 14. Mai 1914.

Berichterstatter: Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. E. KORSCHELT.

(Sonderabdruck aus: »Zeitschrift für wissenschaftl. Zoologie«, Bd. CXIII, Heft 4.)

Die Schalenstruktur von Helix pomatia.

Von

Wilhelm Flössner.

(Aus dem Zoologischen Institut der Universität Marburg.)

Mit 33 Figuren im Text.

Inhalt.

Seite

1. Prinzip der Gastropodenschalenstruktur 546
2. Literatur 548
3. Technik 549
4. Allgemeines über die Schale 550
5. Struktur der Schale 554
   - A. Allgemeines 554
   - B. Die Struktur der beiden Außenschichten 559
   - C. Die Struktur der Innenschichten 565
   - D. Die Ergebnisse im Vergleich mit den Untersuchungen von Biedermann 567
   - E. Mechanische Verhältnisse in der Schalenstruktur von *Helix pomatia* 569
6. Schalenperlenartige Bildungen 573
7. Chemische Zusammensetzung der Schale 575

Literaturverzeichnis 576

---

1. Prinzip der Gastropodenschalenstruktur.

Zunächst sei das Prinzip der Gastropodenschalenstruktur kurz erläutert, um das Verständnis der bisher in der Literatur geäußerten Anschauungen über die recht komplizierte und nicht ganz leicht zu überblickende Struktur zu erleichtern. Jede Molluskenschale setzt sich, im Querschliff betrachtet, aus mehreren übereinanderliegenden Kalkschichten zusammen. Jede dieser Schichten besteht aus Platten, die wie die Blätter eines Buches nebeneinanderliegen. Das nebenstehende Schema, Fig. 1, veranschaulicht das Wichtigste dieser Struktur. Mit P sind die Platten (Parallelepipede) der einen Schicht A_1 und mit P' die Platten der darunter gelegenen Schicht A_2 bezeichnet. Wie

es das Schema zeigt, stehen die Platten der beiden Schichten A_1 und A_2 mit ihren langen, schmalen Seitenflächen senkrecht aufeinander. Die Seitenfläche *abcd* der größten Platte P liegt in der Schalenoberfläche. Die Platten setzen sich aus Balken (z. B. *e f g h i j k l*), in der Struktur Fibrillenbündel genannt, zusammen, die unter einem gewissen Winkel zur Plattenhauptrichtung geneigt liegen. In zwei benachbarten Platten desselben Plattensatzes P oder P' kreuzen sich

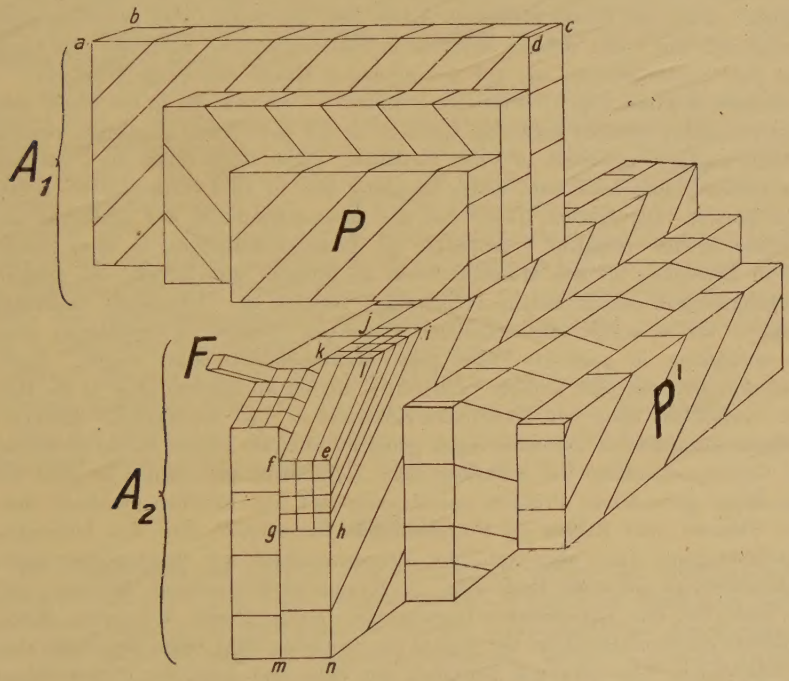

Fig. 1.

Schema zur Erklärung des Prinzips der Gastropodenschalenstruktur. A_1 und A_2 zwei übereinanderliegende Schichten, die sich aus Platten P und P' zusammensetzen. *e f g h i k l* Balken, aus Bälkchen (Fibrillen) z. B. F bestehend.

fast rechtwinklig die Richtungen der Balken oder Fibrillenbündel. Diese bestehen aus Fibrillen oder Fasern — bei F ragt ein solches heraus —, dem letzten Strukturelement der Schale.

Es kommt bei einer solchen Struktur sehr darauf an, in welcher Richtung man schleift. Geht ein Schliff in der Richtung der Hauptfläche der Platten P von Schicht A_1, so werden diese Platten, die wegen ihrer geringen Dicke in Wirklichkeit durchsichtig sind, gekreuzte Fibrillen zeigen, die Platten P' der Schicht A_2 dagegen ihre Querschnitte, z. B. *e*, *f*, *m*, *n*, d. h. die Schicht A_2 sieht scheinbar prismatisch aus.

Wird in umgekehrter Richtung geschliffen, in der Hauptrichtung der Platten P' von Schicht A_2, so zeigen letztere gekreuzte Fibrillen und Schicht A_1 ist scheinbar prismatisch gebaut.

2. Literatur.

Graf Bournon erkannte, daß sich die Schale von *Strombus gigas* aus mehreren Schichten zusammensetzt, die aus in den einzelnen Schichten verschieden gerichteten Blättchen bestehen. Dasselbe fand Bowerbank bei *Cypraea mauritiana*. Aber erst Roses klassische Arbeit über die Schale von *Strombus gigas* ermöglichte uns einen tieferen Einblick in die komplizierte Struktur. Er fand, daß jede Schalenschicht aus auf der schmalen Kante stehenden Blättchen — in meinem Schema, Fig. 1, »Platten« P und P' — besteht, die in der ersten und dritten Schicht dieselbe Richtung besitzen, in der dazwischen gelegenen zweiten Schicht dagegen senkrecht zu jenen verlaufen. Nach Rose sollen die Blättchen aus Prismen aufgebaut sein, deren Richtung sich in zwei benachbarten Blättchen kreuzt. Die Ansicht Roses von der Zusammensetzung der Blättchen aus Prismen möchte vielleicht veranlassen, die Gastropodenschalen in ihrer Struktur in Beziehung zu den Muschelschalen zu bringen, was jedoch, wie spätere Untersuchungen gezeigt haben, vollkommen verfehlt ist. Übergänge existieren insofern, als es einige Muschelschalen (*Cardium, Tellina, Scrobicularia*) gibt, die wenigstens in gewissen Teilen Gastropodenschalenstruktur zeigen. Rose hat unter Prismen jene Gebilde verstanden, die ich im Schema (Fig. 1) als Balken bezeichnet habe. v. Nathusius-Königsborn hat ausführliche Untersuchungen ebenfalls an *Strombus gigas* gemacht und als letztes Strukturelement der Gastropodenschale die Kalkfaser oder Kalkfibrille gefunden. Es sind die von Rose gefundenen Prismen zusammengesetzt aus Fibrillen, weshalb man jene Prismen oder Balken als Fibrillenbündel bezeichnet; nach den bisherigen Untersuchungen kann also von einer Prismenstruktur der Gastropodenschalen schlechterdings nicht die Rede sein. v. Nathusius-Königsborn bemerkt, daß bei allen von ihm untersuchten Gastropoden (*Helix, Nerita, Buccinum, Mitra, Cypraea*) die Grundstruktur der Schale ein ähnliches Bild zeigt, allerdings aber in erheblichen Abweichungen bezüglich der Zahl und Lage der verschiedenen Schichten. Sogar bei demselben Individuum sollen an verschiedenen Stellen der Schale erhebliche Abweichungen auftreten, was ich nach meinen Untersuchungen nur bestätigen kann. Wegen der glasartigen Sprödigkeit soll die Schale von *Helix pomatia* sehr schwer ganz gute Schliffe geben. v. Nathusius-Königsborn gibt keine Abbildungen von *Helix pomatia*, beiläufig erwähnt er: »Die Struktur der älteren Schalenteile ist bei *Helix pomatia* im wesentlichen dieselbe als die bei *Strombus* ausführlich beschriebene, namentlich ist die lamelläre Schichtung sehr ausgesprochen und durch scharfe Abwechslung dunkler und heller Lagen bezeichnet.« Rose und v. Nathusius-Königsborn geben beide ein Schema der Schalenstruktur, die sie bei *Strombus gigas* gefunden haben. Wie Leydig unterscheiden Longe und Mer drei Schichten an der Schale der Heliciden: »La coquille des Hélix se compose de deux assises principales de nature organique et minérale, revêtues d'une cuticule uniquement organique. La première de ces assises est formée, en commençant par l'extérieur d'une couche à striation confuse, ayant à peu près l'épaisseur de la cuticule, et d'une autre

plus épaisse, constituée par des prismes verticaux. C'est à elle qu'est due la coloration générale de la coquille, de même que celle des taches et des bandes. La deuxième, qui est incolore et que l'on désigne communément sous le nom de nacre, comprend plusieurs strates de prismes disposés horizontalement et dont les axes, dans deux couches successives, sont à peu près perpendiculaires entre eux.« Leider fehlen bei Leydig wie auch bei Longe und Mer Abbildungen. Bei letzteren vermißt man auch die Angabe, ob ein Querschliff oder Flächenschliff betrachtet worden ist. Ich kann daher nach meinen eigenen Untersuchungen nur vermuten, daß die zwei äußeren Lagen an einem Schliff senkrecht zu den Anwachsstreifen, dagegen die inneren an einem Flächenschliff beobachtet worden sind. Die Annahme einer prismatischen Struktur ist, wie ich genau an *Helix pomatia* beweisen werde, falsch.

Andere Pulmonaten sind ebenfalls auf ihre Schale hin untersucht worden. Nalepa fand an *Zonites algirus* eine Prismenschicht, die zahnartig in die folgende Schicht mit rhomboedrischer Spaltbarkeit vorspringe. Jacobi gibt für *Amphidromus* ebenfalls eine Prismenschicht an, die zwischen zwei Schichten mit gekreuzter Diagonalstreifung liegt. Der Fehler dieser Untersuchungen liegt darin, daß immer nur ein Querschliff in einer Richtung betrachtet und abgebildet wird, während erst der Schliff senkrecht zu dieser Richtung wahren Aufschluß über die Struktur gibt. Aus diesem Fehler kann man es verstehen, weshalb immer wieder von einer Prismenstruktur die Rede ist; an der Hand meines Schemas (Fig. 1) kann man sich ebenfalls davon überzeugen.

Tycho Tullberg hat an *Buccinum undatum* und neuerdings Beck an den deutschen *Buliminus*-Arten die Gastropodenschalenstruktur festgestellt.

Von den eingehenden Untersuchungen von Biedermann, die grundlegender Natur sind, wird im folgenden noch wiederholt die Rede sein.

3. Technik.

Zur Feststellung der Struktur der *Helix*-Schale fertigte ich zunächst nur Querschliffe an durch die letzte Schalenwindung erwachsener Schnecken, und zwar sowohl parallel, wie auch senkrecht zu den Anwachsstreifen. Da Biedermann 1901 und 1913 schreibt: »Meine Bemühungen, solche — nämlich Querschliffe — in hinreichender Feinheit herzustellen, haben leider bis jetzt zu keinem befriedigenden Ergebnis geführt. Trotz Einbettung der Schalenstückchen splittern dieselben fast immer beim Schleifen, ehe die notwendige Dünne erreicht ist«, so möchte ich etwas eingehender über meine Methode berichten. Am meisten zu beachten ist das Anlöten eines Schalenstückes mit Kanadabalsam auf einem Objektträger. Zuerst befolgte ich die Anweisung von v. Nathusius-Königsborn, mehrere Schalenstückchen nebeneinander einzubetten und zu bearbeiten, was sich als unzweckmäßig herausstellte, da so immer doch nur ein Schliff gelingt, während alle andern meist schief angeschliffen werden. Zudem nimmt das Schleifen mehrerer Stücke bedeutend mehr Zeit in Anspruch als das Schleifen von nur einem Stück. Mit gewöhnlicher Laubsäge mit Stahlblatteinlage sägte ich aus der letzten Windung Schalenstückchen heraus von ungefähr $^1/_2$ cm Breite und 1—2 cm Länge. Nachdem das Schalenstückchen kurze Zeit in Xylol gelegen hatte, um den Kanadabalsam besser anzunehmen, wurde es mit dickem Kanadabalsam auf einen Objektträger angelötet. Es wurde langsam mit einem

Bunsenbrenner erwärmt; stets ist hierbei ein Kochen des Kanadabalsams zu vermeiden. Das Schalenstückchen ist dann richtig angelötet, wenn nach allmählichem Erkalten der Kanadabalsam einen Eindruck des Fingers nicht wiedergibt. Ist er härter als nötig, so springt er gewöhnlich beim unsanften Hinlegen des Objektträgers, an den Sprüngen treten dann Interferenzfiguren auf. In einem solchen Fall reißt das Objekt bei mehrmaligem Schleifen sofort ab; man tut daher gut, einen solchen Objektträger sofort in Xylol zu legen, um so wenigstens das Objekt zu retten. Das richtig angelötete Schalenstückchen wurde zunächst auf einer Seite vollständig glatt geschliffen, dann in Xylol abgelöst, auf der glatt geschliffenen Seite wieder angelötet und nun hier das Stückchen bis zur nötigen mikroskopischen Dicke abgeschliffen. Zum Schleifen benutzte ich zunächst einen gewöhnlichen Sandschleifstein mit Kurbelantrieb, dann einen amerikanischen Schleifstein und darauf einen Ölstein. Ein Schleifen mit Schmirgel empfiehlt sich nicht, da sich die Schmirgelteilchen an dem Schliff oft festsetzen und ihre Beseitigung ohne Gefährdung des Schliffes kaum möglich ist.

Zur Herstellung von Flächenschliffen wurden kleine quadratische Schalenstückchen benutzt.

Eine andre Methode zur Feststellung der Schalenstruktur bestand in der Untersuchung von Schalenbruchstücken. Mit scharfem Meißel (zahnärztliches Instrument) wurden Schalenstückchen zerstampft, die Bruchstücke in Glyzerin unter dem Mikroskop betrachtet oder zu Dauerpräparaten in Kanadabalsam verarbeitet. Der Abfall beim Zersägen der Schale ergab ebenfalls sehr gute Bruchstücke. Eine erste Orientierung an Bruchstücken ist jedoch verfehlt, zunächst muß man an Querschliffen und Flächenschliffen die Prinzipien der Struktur kennengelernt haben, dann erst kann man zum weiteren Eindringen in die Strukturverhältnisse die Bruchstücke mit Vorteil benutzen.

Um die äußeren Kalkschichten, die das Pigment führen, von den inneren Schichten zu trennen, rieb ich die Schale mit einem Tuch, das mit verdünnter Salzsäure oder Salpetersäure getränkt war, so lange, bis die Schale ganz weiß oder farblos am lebenden Tier, d. h. durchsichtig, war. Diese Methode ist äußerst einfach, schon von Sporleder, wie ich nachträglich aus der Literatur ersah, zur Feststellung der Herzbewegungen bei *Cyclostoma elegans* angewandt. Nach der Verdünnung der Schale kann man sämtliche unter der Schale gelegenen Organe beobachten, vor allem die Herztätigkeit, ohne irgendwie bei nötiger Vorsicht das Tier zu stören; selbst die kleinsten Nierengefäße kann man erkennen. So konnte ich auch beobachten, wie die Schneckenmilbe auf dem Mantel unter der Schale bis hinauf in die Windungen läuft.

4. Allgemeines über die Schale.

Das meistens rechts gewundene Gehäuse einer ausgewachsenen Weinbergschnecke besitzt gewöhnlich vier bis fünf Windungen[1]. Die Jahresabsätze, das Ende einer Windung, ist verdickt, was besonders

[1] Auf die links gewundenen Schalen, die in einer im hiesigen Institut ausgeführten Arbeit von W. Kühn ausführlich behandelt werden sollen, gehe ich hier nicht ein.

beim Durchsichtigmachen der Schalen auffällt. Die vielen Erhöhungen und Vertiefungen, die wie Rinnen parallel dem Schalenrand verlaufen, bezeichnet man als Anwachsstreifen; sie sind schon im Periostracum des wachsenden Schalenrandes angedeutet. Daß die Spindel oder Columella in der Mitte des Gehäuses kein selbständiges Gebilde ist, sondern dadurch entsteht, daß sich die einzelnen Windungen dicht aneinanderlegen, zeigt die Abbildung einer Schale (Fig. 2), aus der ich gewissermaßen einen Keil herausgeschliffen habe, und besonders schön ein Totalschliff durch eine Schale (Fig. 3). In der Jugend besitzen die Gehäuse der Weinbergschnecken sämtlich einen organischen Überzug, das Periostracum. Durch Witterungseinflüsse geht es später meistens verloren. Fig. 4 zeigt eine zufällig gefundene Schale, bei der das Periostracum der letzten Windung geplatzt ist, so

Fig. 2.
Schale, aus der ein keilförmiges Stück herausgeschliffen ist.
Vergr. 1,5 ×.

Fig. 3.
Totalschliff durch eine Schale, von beiden Seiten bis zu einer Dicke von ca. 1 mm abgeschliffen.
Vergr. 1,5 ×.

Fig. 4.
Schale, bei der das Periostracum geplatzt ist und teilweise herunterhängt.
Vergr. $^4/_5$ nat. Größe.

daß es streckenweise abgelöst erscheint und teilweise herunterhängt.

Unter dem Periostracum liegen nur noch Kalkschichten, die ich mit Biedermann in zwei Arten unterscheiden möchte: nämlich die Außen- oder äußeren Schichten und die Innen- oder inneren Schichten. Biedermann bezeichnet nach dem Flächenbilde die ersteren auch als Stalaktitenschichten und die letzteren als Bänder- oder Blätterschichten. Ich werde jedoch vorwiegend die zuerst genannten Bezeichnungsweisen benutzen, da ich die Schichten nicht nur im Flächenbild, sondern auch in Querschliffsbildern und räumlich zeigen werde. Die äußeren Schichten führen allein das Pigment, enthalten

Fig. 5.

Schale, bei der, da das Periostracum entfernt ist, die darunter liegende Kalkschicht mit Pigmentbändern sichtbar ist. Vergr. $^4/_5$ nat. Größe.

Fig. 6.

Schale, die nach Behandeln mit Säure nur noch die Innenschichten besitzt. Vergr. $^4/_5$ nat. Größe.

also auch die meist nicht vollkommen entwickelten fünf Pigmentbänder, die parallel der Spiralwindung verlaufen. Bei der Schneckenschale der Abbildung Fig. 5 wurde das Periostracum mit Kalilauge beseitigt, um so die Pigmentbänder — drei sind an der letzten Windung zu sehen — sichtbar zu machen. Reibt man eine solche Schnekkenschale — wie unter Technik geschildert — mit verdünnter Säure ab, so verschwinden die pigmentführenden, äußeren Schichten und es bleiben übrig die inneren farblosen, im reflektierten Licht weiß aussehenden Schichten, wie es Fig. 6 deutlich zeigt.

Nach Einknickung der Schale kann man sehr leicht das Periostracum mit der Pinzette abziehen, wenn man die Schale etwas anfeuchtet. Auf Querschnitten zeigt das Periostracum eine Zusammensetzung aus vier organischen Lagen, die verschieden dick sind und verschieden gefärbt sind, gelblich bis dunkelbraun. An den Enden

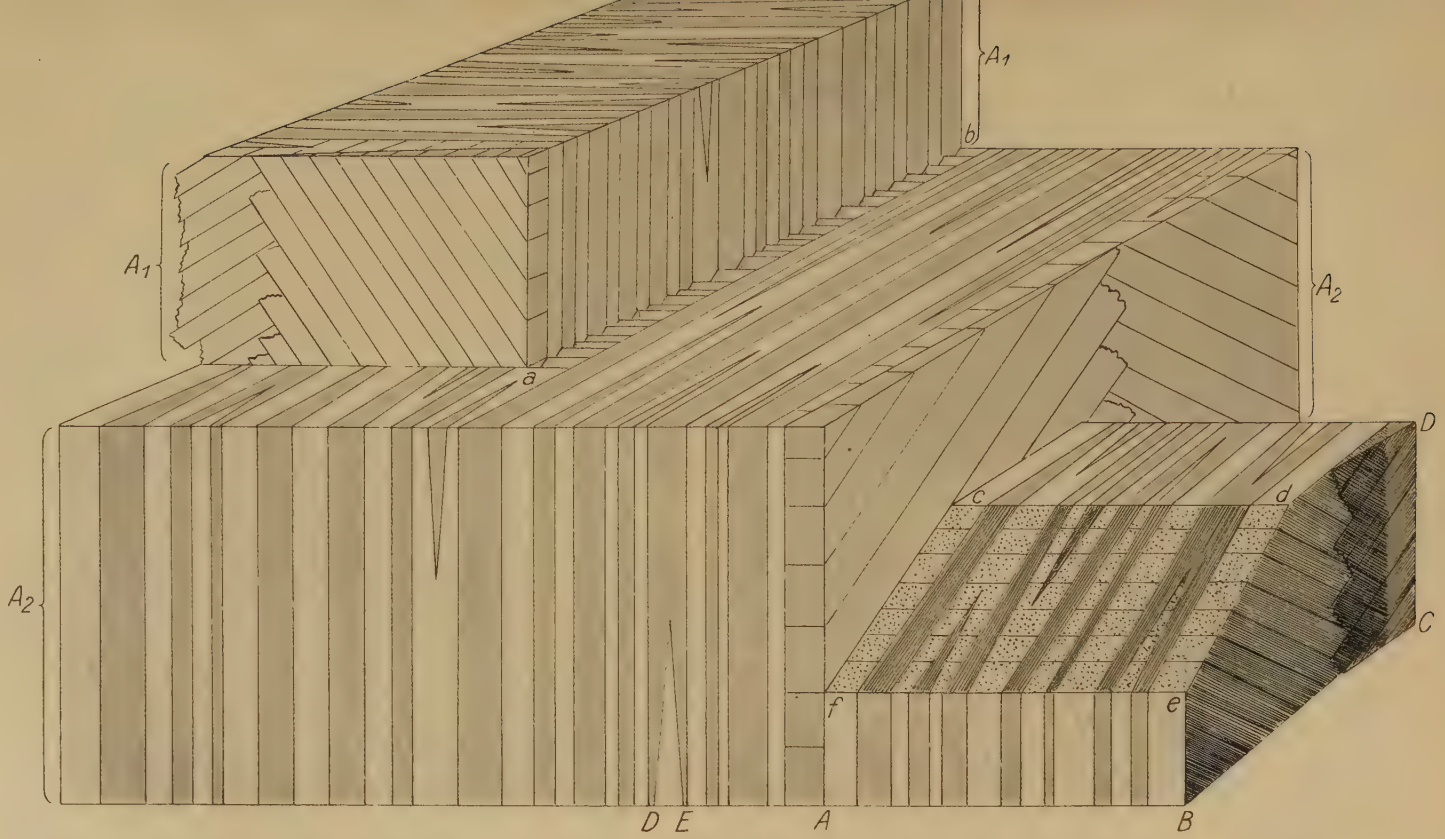

Fig. 7.

Schema der Struktur der beiden Außenschichten A_1 und A_2 von *Helix pomatia*; schließt sich an Fig. 1 an und bildet den Übergang zu dem Idealausschnitt Fig. 8. Platten an den Enden keilförmig zugespitzt gezeichnet. Da in zwei benachbarten Platten die Richtung der Balken (Fibrillenbündel) gekreuzt ist, sind die Platten mit derselben Balkenrichtung auch mit derselben Helligkeit angegeben. Das Anhangsstück *A B C D* der zweiten Außenschicht A_2 gibt mit der Fläche *c d e f* den Spezialfall wieder, wo die Platten abwechselnd parallel und senkrecht zu ihren Fibrillen getroffen sind. Die Fläche *B C D d e* zeigt an der einen Stelle Fibrillenkreuzung. Längs *a b* sitzt die erste Außenschicht (A_1) auf der zweiten Außenschicht (A_2).

des Querschnittes heben sich die Lagen voneinander ab. Die Anwachsstreifen lassen sich auf dem Periostracum als wellenartige Erhöhungen und Vertiefungen erkennen. Senkrecht zu den Anwachsstreifen verlaufen dicht gedrängt feine, wellenförmige, oft unterbrochene Linien, wie es auch schon v. Nathusius-Königsborn angibt.

5. Die Struktur der Schale.

A. Allgemeines.

Bei der Schilderung der Struktur möchte ich, um dem Leser das Verständnis zu erleichtern, gerade umgekehrt vorgehen wie bei meinen Untersuchungen. Meine sämtlichen Strukturbilder wurden zu einem idealen Ausschnitt (Fig. 8) aus der Schale verarbeitet, und zu dessen besserm Verständnis wurde noch ein Schema entworfen (Fig. 7), das sich mehr den natürlichen Verhältnissen anschmiegt, einen Übergang bildet von dem ganz primitivem Schema (Fig. 1) zum Idealausschnitt (Fig. 8). Es bleibt so dem Leser die Mühe erspart, sich die Schliffbilder räumlich vorzustellen und die verschiedenartigsten Bruchstücke entsprechend den Schliffbildern den einzelnen Schichten zuzuordnen. Aber dennoch wird er sich eine Vorstellung von der Schwierigkeit der Untersuchung machen können, zumal hier zum ersten Male eine Schneckenschale, die von *Helix pomatia*, in allen ihren Schichten in voller Ausführlichkeit genau beschrieben wird, was, soweit ich die Literatur übersehe, bis jetzt noch bei keiner Schneckenschale derartig geschehen ist.

Das Schema in Fig. 7 zeigt uns wiederum die beiden äußeren Schalenschichten (A_1 und A_2) von *Helix pomatia*. Die Zahl der sie zusammensetzenden Platten ist vergrößert, die Plattenrichtung ist dieselbe wie in Fig. 1. Die Platten der ersten Außenschicht A_1 sind bedeutend kürzer und dünner als die der zweiten Außenschicht A_2. Hier, in Fig. 7, sind die Platten mehr der Wirklichkeit entsprechend gezeichnet; sie laufen nach ihren kurzen, schmalen Seitenflächen spitz zu, sind stark ineinander gekeilt, wie ineinander getrieben. Die Platten gehen mit ihrer kurzen, schmalen Seitenfläche durch die ganze Dicke einer Schicht meistens hindurch, nur hin und wieder, z. B. bei *DE*, sind sie auch hier keilförmig entwickelt. Es verlaufen die Platten der Schicht A_1 senkrecht zu den Anwachsstreifen, die der Schicht A_2 dementsprechend parallel den Anwachsstreifen. Die Platten sind, wie in Fig. 1, aus Balken, in der Struktur »Fibrillenbündel«, zusammengesetzt. Die Richtung dieser Balken ist in zwei benachbarten

Platten ungefähr rechtwinklig gekreuzt, wie es deutlich an der vorderen Fläche von Schicht A_1 und an der Seitenfläche von Schicht A_2 zu sehen ist. Die Platten mit derselben Balkenrichtung zeigen dieselbe Helligkeit. Die erste Schicht A_1 ist längs *ab* zahnartig in die zweite Schicht eingesetzt, wie es auch auf dem Idealausschnitt, Fig. 8, zu sehen ist.

Das Anhangsstück der zweiten Schicht A_2: *ABCD* soll einen Spezialfall vorstellen und gleichzeitig auch noch das letzte Strukturelement der Schale, die Fibrille, uns vor Augen führen. Wir sehen hier, wie jeder Balken (Fibrillenbündel) aus Fasern oder Fibrillen, hier durch einfache gerade Linien dargestellt, zusammengesetzt ist, so daß, wenn die Platten durchsichtig sind, eine Fibrillenkreuzung zustande kommen muß, wie eine Stelle der Seitenfläche über *BC* zeigt. Das Anhangsstück stellt mit der Fläche *cdef* den Fall dar, wo die einen Platten parallel ihrer Fibrillen und dementsprechend die benachbarten Platten senkrecht zu ihren Fibrillen getroffen sind, so daß wir jenes eigenartige Bild vor uns haben, Platten mit nebeneinanderliegenden Fibrillen, damit abwechselnd Platten mit Balken- und Fibrillenquerschnitten, letztere durch Punkte ausgedrückt.

Der Idealausschnitt (Fig. 8) zeigt die natürlichen, räumlichen Verhältnisse der Struktur, er stellt eine Zusammensetzung und Verarbeitung meiner sämtlichen Strukturbilder dar. Die Größenverhältnisse sind aus den Schliffen berechnet. Jede Schicht, als Parallelepiped gezeichnet, gibt mit der oberen Fläche das Flächenbild wieder, mit der vorderen, langen Seitenfläche ein Querschliffsbild parallel den Anwachsstreifen, mit der kurzen Seitenfläche dagegen ein Querschliffsbild senkrecht zu den Anwachsstreifen. A_1 und A_2 sind die Außenschichten, die leichter strukturell zu erkennen sind als die Innenschichten (J_1 und J_2), von denen oft nur die erste (J_1) vorhanden ist, besonders bei jüngeren Schalen. Sämtliche Schichten zeigen im Prinzip denselben Bau, nämlich eine Zusammensetzung aus Platten, die, wie die Flächenbilder zeigen, stark zerfasert, noch mehr, als in Fig. 7, ineinander gekeilt sind, was besonders bei J_1 auffällt. Die spindelförmige Ausbildung der Platten, ihr Zerfasern bringt es mit sich, daß bei Schliffen parallel den Plattenhauptflächen niemals nur eine Platte allein getroffen wird, sondern es werden mehrere angeschliffen, so daß der Schliff, besser die Schicht, mit der Plattenhauptfläche, d. h. mit der Fibrillenkreuzung, ein schuppiges Aussehen zeigt; im Querschliff parallel zu den Anwachsstreifen: A_2 und J_2, im Querschliff senkrecht zu den Anwachsstreifen: A_1 und J_1. Wegen ihrer

starken Lichtbrechungsverhältnisse sind die Innenschichten nur sehr schwer zu beobachten, eine Fibrillenkreuzung tritt klar zu Tage,

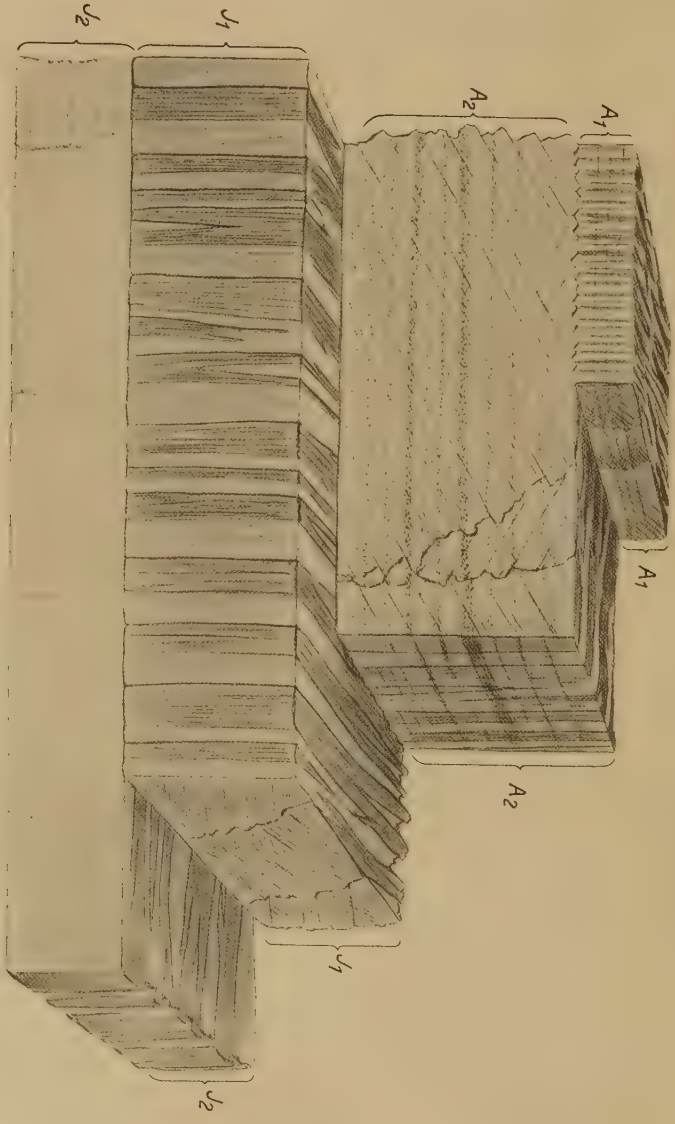

Fig. 8.

Idealausschnitt aus der letzten Windung der Schale von *Helix pomatia*, erhalten aus meinen sämtlichen Strukturbildern. A_1 erste, A_2 zweite Außenschicht; I_1 erste, I_2 zweite Innenschicht.

Fibrillen sind stets vorhanden, eine Zusammensetzung aus Fibrillenbündeln ist weniger deutlich, oft gar nicht, zu erkennen als in den Außenschichten (A_1 und A_2).

Nun sind noch die Schliffe und Bruchstücke zu beschreiben, die zur Annahme jener an der Hand der Schemata und des Idealausschnittes erläuterten Struktur führten.

Einen Schliff parallel den Anwachsstreifen stellt Fig. 9 dar, einen Schliff senkrecht zu den Anwachsstreifen dagegen Fig. 10.

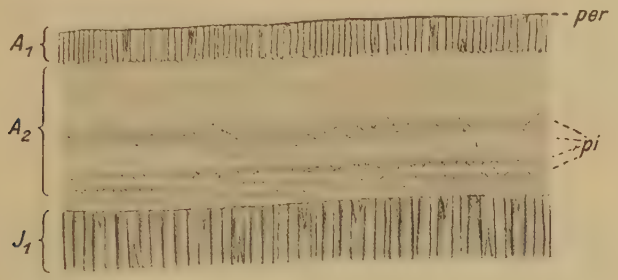

Fig. 9.

Querschliff durch die letzte Windung parallel den Anwachsstreifen. Vergr. 100×. *pi* Pigmentstreifen; *per* Periostracum; A_1 erste, A_2 zweite Außenschicht; I_1 erste Innenschicht.

Beide Querschliffe habe ich schon an andrer Stelle ausführlicher besprochen. Beide Schliffe zeigen oben das Periostracum (*per*) als dünnen Streifen, darunter liegen je drei Kalkschichten, zwei Außenschichten (A_1 und A_2) und eine Innenschicht J_1. Die erste Au-

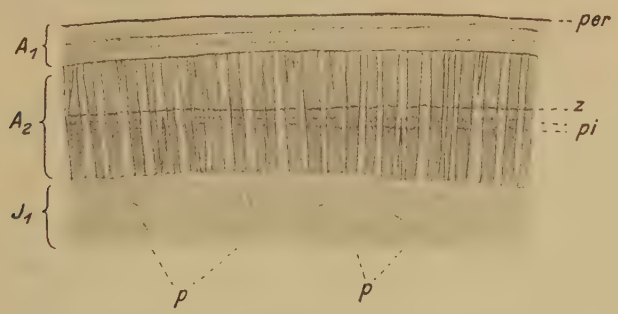

Fig. 10.

Querschliff durch die letzte Windung senkrecht zu den Anwachsstreifen. Vergr. 100×. *per* Periostracum; *pi* Pigmentstreifen; *z* Zuwachslinie, *p* angeschliffene Platten; A_1 erste, A_2 zweite Außenschicht; I_1 erste Innenschicht.

ßenschicht A_1 ist in Fig. 9 prismatisch strukturiert, in Fig. 10 dagegen bandartig, zeigt hier links etwas fibrilläre Struktur. Die zweite Außenschicht A_2 besitzt in Fig. 9 gekreuzte Fibrillen, in Fig. 10 dagegen scheinbar prismatischen Bau, wobei ähnlich wie in A_1 in Fig. 9 die

prismatischen Gebilde abwechselnd hell und dunkel erscheinen, was hervorgerufen wird durch den verschiedenen Verlauf der Fibrillen in den Platten, die sich in den prismatischen Gebilden in ihren Querschnitten zeigen. Die Fibrillenkreuzung zeigen die Platten auf ihren Hauptflächen. Pigmentkörner (*pi*) sind streifenartig in der Schicht A_2 abgelagert. In Fig. 10 ist in A_2 noch eine Zuwachs- oder Trennungslinie (*z*) zu beobachten, die ich später noch an andern Schliffen näher beschreiben werde. Die erste Innenschicht J_1 bietet im Prinzip dieselben Bilder wie A_1 in beiden Figuren. Ihre starke Lichtbrechung unterscheidet sie von den beiden andern, in *p* (Fig. 10) sind sie zusammensetzende Platten angeschliffen. Beide Schliffbilder fin-

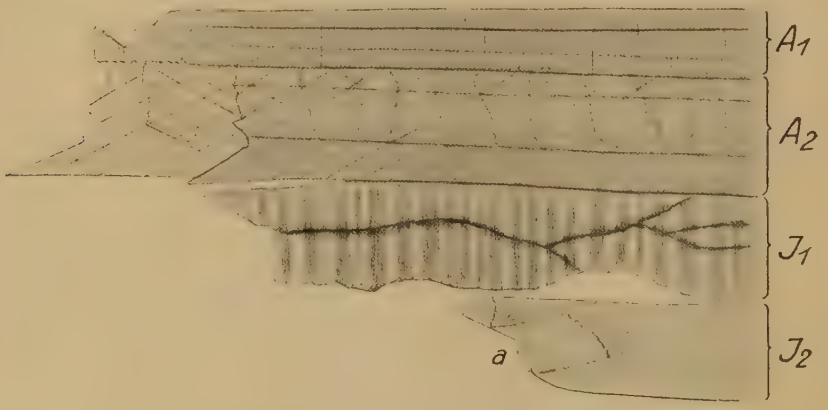

Fig. 11.

Schliff durch die erste Schalenwindung parallel den Anwachsstreifen. A_1 erste, A_2 zweite Außenschicht; I_1 erste, I_2 zweite Innenschicht. Bei *a* eine Platte mit Fibrillen sichtbar. Vergr. 135×.

den wir auch im Idealausschnitt, Fig. 9 auf den vorderen langen Seitenflächen, Fig. 10 auf den kurzen Seitenflächen. Es fehlt eben nur die zweite Innenschicht J_2. Diese ist auf dem Querschliff, parallel den Anwachsstreifen, in Fig. 11 zu sehen. Hier ist kein Periostracum vorhanden, die erste Außenschicht A_1 ist scheinbar prismatisch. Die zweite Außenschicht A_2 zeigt, da viele Platten angeschliffen sind, ein schuppiges Aussehen. Links sind zwei Platten, die eine ragt unter der andern hervor, mit Fibrillenbündeln, scharf ausgezogen, und Fibrillen zu erkennen. Die untere Hälfte der Schicht zeigt Pigmentkörner. Die erste Innenschicht J_1 ist scheinbar prismatisch strukturiert, sie zeigt dunkle Risse und Sprünge. Durch das Schleifen hat sich die zweite Innenschicht J_2 etwas von ihr abgehoben, die wieder-

um gekreuzte Fibrillen zeigt, an einer Stelle links, bei *a*, sind die Fibrillen einer Platte allein zu sehen. Es fällt hier auf, daß der Kreuzungswinkel der Fibrillen viel kleiner ist als der der Fibrillen in der zweiten Außenschicht A_2, und daß auch die Fibrillen der Innenschichten viel feiner entwickelt sind als die der Außenschichten.

B. Die Struktur der beiden Außenschichten.

Interessant ist es, daß, wenn beim Schleifen ein Schalenstück zerreißt, stets die beiden Außenschichten zusammenhalten, die Innenschichten dagegen abspringen, so daß die beiden Außenschichten für sich abgebildet werden (Fig. 12, 13 und 14). An dem Schliff in Fig. 12, parallel den Anwachsstreifen geschliffen, bemerken wir eine scharfe Grenze zwischen den beiden Außenschichten (A_1 und A_2), nur hin und wieder ist ein zahnartiger Einsatz zu beobachten. Die zweite Außenschicht A_2 besteht hier aus zwei übereinanderliegenden Platten, rechts unten bei *a* ragt die eine hervor; Fibrillenbündel und Fibrillen sind deutlich zu erkennen. Charakteristisch für A_2 sind die starken Pigmentstreifen (*pi*). Die Trennungs- oder Zuwachslinie (*z*) durchzieht wie ein feiner Messingdraht die Schicht. Durch ihre Schärfe ist sie deutlich von Pigmentstreifen zu unterscheiden. Ich bezeichne sie deshalb als Trennungslinie, weil zuerst in ihr ein Zerreißen der Schicht eintritt, wie es deutlich Fig. 13 zeigt. Es müssen sich die einzelnen Lagen der zweiten Außenschicht A_2, in der Fig. 13 sind es drei, durch ihre physikalischen Verhältnisse unterscheiden. Einen solchen Unterschied kann ich mir so erklären, daß die verschiedenen

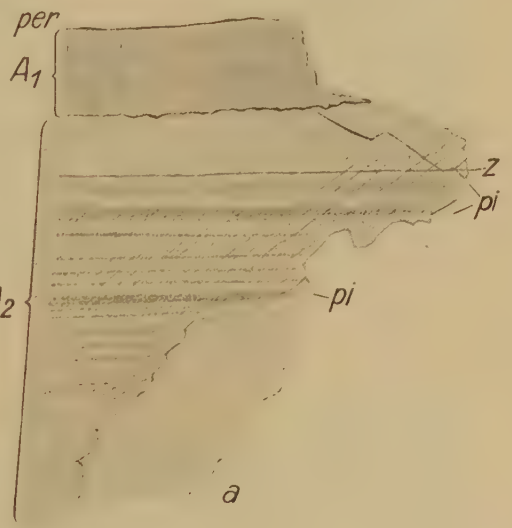

Fig. 12.

Bruchstück eines Schliffes parallel den Anwachsstreifen. A_1 erste, A_2 zweite Außenschicht; *z* Zuwachslinie; *per* Periostracum; *pi* Pigmentstreifen. Bei *a* Platte mit Fibrillenbündeln und Fibrillen. Vergr. 187×.

Lagen zu verschiedenen Zeiten entstanden sind, daß also die Trennungslinien (z) die Grenzen des jeweiligen Zuwachses angeben, weshalb ich diese auch als Zuwachslinien bezeichnet habe. In Fig. 13 geht der Schliff, da senkrecht zu den Anwachsstreifen geführt, durch letztere, die sich als Erhebungen (a) in der Schicht A_1 erkennen lassen. In den Erhebungen scheint besonders viel Pigment angehäuft zu sein. Die Natur der Streifen, die hier die Schicht A_1 durchziehen, ob sie

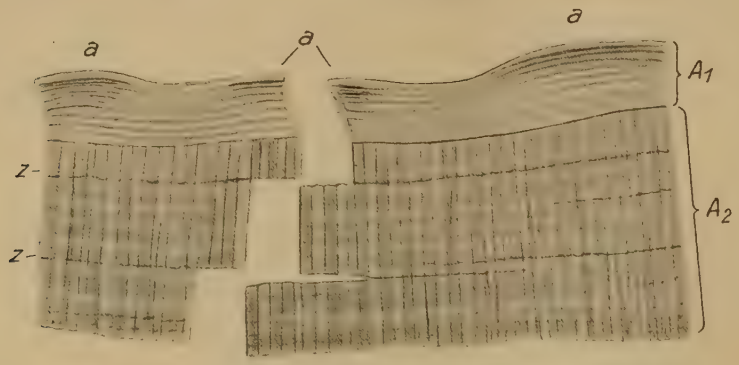

Fig. 13.

Schliff senkrecht zu den Anwachsstreifen (a) in den Zuwachslinien (z) zerrissen. A_1 erste, A_2 zweite Außenschicht. Vergr. 64 ×.

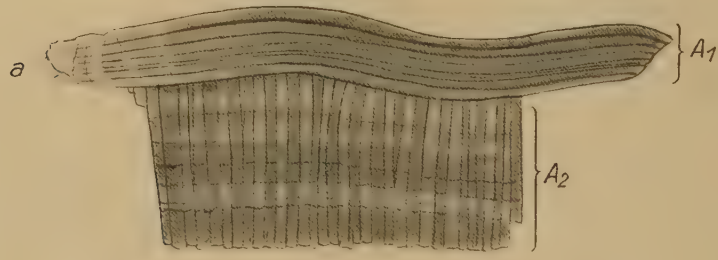

Fig. 14.

Bruchstück eines Schliffes senkrecht zu den Anwachsstreifen. A_1 erste, A_2 zweite Außenschicht. Vergr. 64 ×.

Pigmentstreifen oder Trennungslinien vorstellen, ist wegen der Dicke des Schliffes nicht näher anzugeben. Das Schliffbruchstück in Fig. 14 bietet im wesentlichen dasselbe wie der Schliff in Fig. 13. Ich bitte hier, in Fig. 14, für meine späteren Ausführungen die Krümmungen einiger scheinbar prismatischen Gebilde der zweiten Außenschicht A_2 zu beachten. Bei den beiden Schliffen in Fig. 13 und 14 fällt das abwechselnde Hell und Dunkel der scheinbar prismatischen Gebilde auf,

bewirkt dadurch, daß in zwei benachbarten prismatischen Gebilden (Platten!) sich die Fibrillen kreuzen.

Fig. 15 zeigt das linke Ende der Schicht A_1 in Fig. 14 bei stärkerer Vergrößerung. Auch diese Schicht zeigt eine Zusammensetzung aus in der Figur übereinanderliegenden Platten, die sich aus Fibrillenbündeln und diese wieder aus Fibrillen zusammensetzen. Besonders klar ist dies bei *b* und an den angeschliffenen Platten zu sehen, die so der Schicht ein etwas schuppiges Aussehen verleihen. Trennungslinien oder Zuwachslinien sind ebenfalls zu beobachten. Auf einem Schliff parallel zu den Anwachsstreifen werden die Platten der Schicht A_1 quer getroffen, d. h. die Schicht erscheint, wie wir es aus den Fig. 9, 11 und 12 wissen, prismatisch. Bei stärkerer Vergrößerung, wie es Fig. 16 zeigt, bemerken wir jedoch, daß die Platten miteinander anastomosieren,

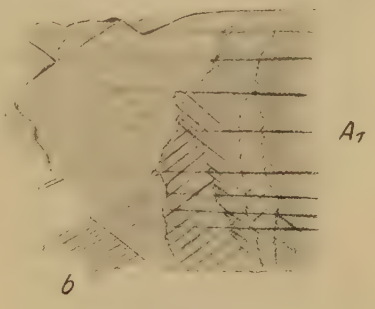

Fig. 15.

Stelle *a* des vorigen Präparates (Fig. 14) stärker vergrößert. Bei *b* Platte mit Fibrillenbündeln und Fibrillen. Vergr. 480×.

Fig. 16.

Stück eines Schliffes parallel den Anwachsstreifen. A_1 erste, A_2 zweite Außenschicht; *a b* Ansatzlinie. Vergr. 480×.

Fig. 17.

Flächenbild d. ersten Außenschicht (A_1). Vergr. 200×.

daß auch nicht alle die ganze Schicht durchdringen. Interessant ist die Stelle, längs *ab*, wo die erste Außenschicht A_1 der zweiten A_2 aufsitzt. Die Einsatzlinie *ab*, vgl. Idealausschnitt, ist zackig ge-

brochen; die Zacken besitzen meistens als Spitzenwinkel den Kreuzungswinkel der Fibrillen in der Schicht A_2.

Ein Flächenbild der ersten Außenschicht A_1, das Fig. 17 bietet, macht einen netzartigen Eindruck, es erinnert an die Rinde eines Weidenbaumes. Die Platten, hier von oben gesehen, sind abwechselnd hell und dunkel, letztere füllen die Maschen des Netzes aus. Die Platten laufen parallel der Spiralwindung des Gehäuses, senkrecht also zu den Anwachsstreifen. Nach dem Aussehen der Schicht A_1 in der Fläche, wie hier, bezeichnet Biedermann die erste Außenschicht, die er am wachsenden Schalenrand mit polarisiertem Licht untersucht hat, als Stalaktitenschicht.

Fig. 18.
Flächenbild der zweiten Außenschicht (A_2). Vergr. 200×.

Auf die erste Außenschicht A_1 folgt, wie schon Biedermann mitteilt, etwas weiter vom wachsenden Schalenrand entfernt, eine zweite ähnliche Stalaktitenschicht A_2, die sich von der ersten dadurch unterscheidet, daß ihre Platten senkrecht zu deren Platten gerichtet sind.

Eine Flächenansicht der zweiten Außenschicht A_2 gibt Fig. 18 wieder. Das Präparat erhielt ich als Bruchstück einer weißen Schale (Fig. 6). Unter dem Mikroskop erkannte ich daran noch eine dünne Lage der zweiten Außenschicht, die darunter gelegene Schicht war schon Innenschicht. Die Platten, die, wie ich vorwegnehmen muß, auch hier die Schicht zusammensetzen, erstrecken sich bandartig, zerfasern sich, laufen an den Enden spindelförmig zu, sind stark ineinander verkeilt. Die Platten, z. B. p_1 und p_2, zeigen geringen Helligkeitsunterschied. Eine feine, gestichelte Faserung ist auch zu beobachten, was jedenfalls durch das Eindringen von Säure bewirkt sein mag. Einen prachtvollen Einblick in die fibrilläre Struktur der zweiten Außenschicht gewährt Fig. 19. Dieses Bild erinnert lebhaft an ähnliche Bilder von v. Nathusius-Königsborn für *Strombus gigas* und von

Biedermann für *Mitra cucumerina*. Wir sehen hier die Seite *cdef* des Anhangsstückes der Schicht A_2 im Schema, Fig. 7, vor uns in Wirklichkeit, in der Schalenstruktur. Das Bruchstück, von dem die Abbildung stammt, sieht im Prinzip genau so aus wie jenes Anhangsstück *ABCD* im Schema (Fig. 7). Es sind die das Bruchstück zusammensetzenden Platten abwechselnd, die einen (*a*) parallel ihrer Fibrillen, die andern (*b*) senkrecht zu ihren Fibrillen getroffen. Die Platten (*a*), parallel zu ihren Fibrillen getroffen, sind hellglänzend, zeigen feine Fibrillen. Die senkrecht getroffenen Fibrillen der andern Platten (*b*) treten im Bilde nur als Punkte hervor, die Fibrillenbündel als kleine Rechtecke. Die

Fig. 19.

Bruchfläche eines Stückes der zweiten Außenschicht. Die einen Platten (*a*) parallel ihrer Fibrillen, die andern (*b*) ungefähr senkrecht zu ihren Fibrillen getroffen. Vergr. 200×.

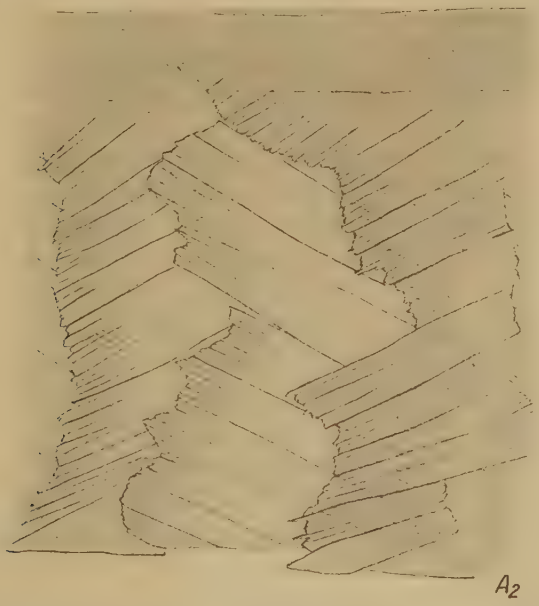

Fig. 20.

Querschliff parallel den Anwachsstreifen durch ein Stück der zweiten Außenschicht (A_2) in der Nähe des Ansatzes an die vorletzte Windung. Vergr. 166×.

Platten mit senkrecht getroffenen Fibrillen sind kürzer als die andern Platten, weil eben gerade am Bruchstück die Fibrillen am leichtesten herausgerissen werden, die senkrecht zur Bildebene verlaufen.

Das nächste Bild, Fig. 20, gibt nun eine Ansicht der Platten von A_2 von ihrer Hauptfläche. Der Schliff stammt aus der Nähe des Ansatzes der letzten Windung an die vorletzte; an dieser Stelle ist die Schale besonders dick und daher sind ihre Schichten, vor allem A_2, stark entwickelt. Die Elemente der Schicht A_2 sind verhältnismäßig viel größer als sonst; sind doch hier nur drei angeschliffene Platten abgebildet. Jede Platte besteht aus Fibrillenbündeln, scharf ausgezogen, plättchenartig. Jedes Fibrillenbündel splittert in Fibrillen auf. Da die Platten hier durchsichtig sind, wegen ihrer geringen Dicke, so kann man sich eine deutliche Vorstellung davon machen, wie sonst in den Querschliffen eine Fibrillenkreuzung zustande kommt. Die hier, Fig. 20, gegebene Abbildung erinnert mich lebhaft an von Biedermann künstlich erzeugte Strukturen (Fig. 190 im Handbuch der vergl. Physiol.: Physiologie der Stütz- und Skeletsubstanzen), die Biedermann als ähnlich der Blätterschicht der dickschaligen Gastropoden bezeichnet.

Fig. 21.

Räumliches Bild der zweiten Außenschicht (A_2). *a* Platten; bei *b* Flächenbild der darüberliegenden ersten Außenschicht (A_1). Näheres im Text. Vergr. 200 ×.

Einen geradezu idealen Einblick in die Struktur der zweiten Außenschicht A_2, in die Gastropodenschalenstruktur überhaupt, gewährte ein Schalenstückchen, das ich in Zenkersche Lösung gelegt hatte, und von dem eine Stelle in Fig. 21 wiedergegeben ist. Als ich das Schalenstückchen nach einiger Zeit aus der Lösung nahm, bemerkte ich, daß zufällig die Auflösung so vor sich gegangen war, daß nur einige Stellen stumpf-keilförmig herausgelöst waren. Durch die günstige Lage des Objektes konnte man von oben schräg in die Platten hineinsehen und ihre Fibrillenstruktur beobachten, wie es ja auch Fig. 21 wiederzugeben sucht. Es greifen hier die Platten (*a*) wie die Finger zweier Hände ineinander. Ja einige Platten treten durch die benachbarten Platten hindurch, eine Platte (ganz rechts) nimmt die gegenüberstehende Platte gabelartig in sich auf. In sämtlichen Platten treten die Fibrillen auf, Fibrillenbündel sind nicht zu beobachten.

An der Hand dieses Bildes wird sich der Leser leicht die vorher von A_2 angeführten Flächen- und Querschliffsbilder vorstellen können. Über die Platten (oben bei *b* in der Figur) verlaufen die Platten der ersten Außenschicht A_1, dasselbe Flächenbild wie in Fig. 17.

Wie liegen nun die Platten der zweiten Außenschicht A_2 zu denen der darauffolgenden Schicht, der ersten Innenschicht (J_1)? Darauf antwortet uns Fig. 22, die ein Schalenbruchstück wiedergibt. Oben verlaufen die abwechselnd hellen und dunklen Platten, hier bandartig sich zeigend, der Innenschicht (J_1), die nur bei dunklem Gesichtsfeld zu zeichnen ist. Darunter ziehen die Platten der zweiten Außenschicht (A_2) hin, einen Winkel von ungefähr 90° mit denen der Innenschicht bildend.

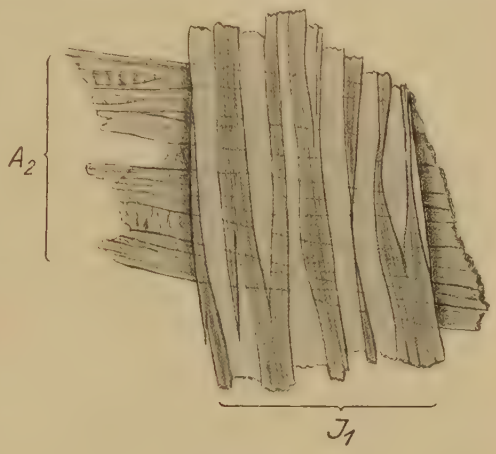

Fig. 22.

Bruchstück einer Schale, das die Lage der Platten der ersten Innenschicht (J_1) zu denen der zweiten Außenschicht (A_2) zeigt. Die Platten stehen senkrecht aufeinander. Vergr. 200×.

C. Die Struktur der Innenschichten.

Biedermann hat schon von der Innenschicht ein Flächenbild gegeben, das meiner Abbildung (Fig. 23) ähnelt, die die Flächenansicht eines Bruchstückes einer weißen Schale (Fig. 6) darstellt. Nur bei abgeblendetem Licht, also bei auffallendem Licht, ist ein Unterschied in der Fläche zu bemerken, wie es schon Biedermann mitteilt. Das ganze Bruchstück zeigt einen zarten, bläulichen Schimmer. Wir sehen abwechselnd helle und dunkle Bänder, als Ausdruck der die Schicht zusammensetzenden Platten, die eben mit ihrer Hauptfläche senkrecht zur Bildebene stehen. Auch hier zerfasern sich, und zwar besonders stark, die Platten, die oft miteinander anastomosieren. Sind zwei Innenschichten vorhanden, wie es bei ausgewachsenen Schalen der Fall ist, so bilden ihre Platten einen Winkel von ungefähr 90° miteinander, wie es deutlich am Idealausschnitt (Fig. 8) zu sehen ist.

Zwei Abbildungen der Hauptfläche von Platten der Innenschicht

geben die Fig. 24 und 25. Das Präparat der Fig. 24 fand ich neben den Bruchstücken einer weißen Schale. Oben an der Stelle der zakkigen Linie hat die zweite Außenschicht gesessen. Das Präparat zeigt deutlich sich kreuzende Fibrillen, die abgebrochen sind und nun schwarmartig herumliegen; es zeigte deutlich schon im gewöhnlichen Lichte Interferenzfarben, was vielleicht damit zusammenhängt, daß der Verband der Fibrillen durch Säure gelockert ist und diese nun als optisches Gitter funktionieren. Ein Bild der Innenschicht in einem Querschliff gibt Fig. 25 wieder, der Einfachheit halber sind die übrigen Schichten weggelassen. Wir sehen hier wieder übereinanderliegende Platten mit spitzwinkliger Fibrillenkreuzung. Die Fibrillen sind jedoch in den Innenschichten sehr schwer zu beobachten wegen des starken Lichtbrechungsvermögens. Wie man schon aus diesem Bild ersieht, läßt sich die Innenschicht sehr schwer schleifen, sie zerreißt meistens, ehe die notwendige Dünne erreicht ist.

Fig. 23.
Flächenbild der Innenschicht an einem Bruchstück einer weißen Schale bei abgeblendetem Licht. Vergr. 200×.

An einem Bruchstück einer weißen Schale (Fig. 26) konnte ich jene Strukturverhältnisse beobachten, wie sie Fig. 19 für die zweite Außenschicht A_2 gibt und wie sie in der Fläche *cdef* des Anhangsstückes im Schema Fig. 7 vorhanden sind. Wegen der starken Lichtbrechung ist das Bild nicht so scharf und klar wie das der zweiten Außenschicht A_2 in Fig. 19. Dazu kommt noch, daß, wie aus den Flächenbildern (Fig. 18 und Fig. 23) zu erschließen ist, die Platten der Innenschichten sich mehr verzweigen, mehr zerfasern, wodurch in Fig. 26 etwas Unregelmäßiges hereinkommt. Es sind hier also die einen Platten parallel ihren Fibrillen, die benachbarten Platten ungefähr senkrecht zu ihren Fibrillen getroffen, denn im allgemeinen ist der Fibrillenkreuzungswinkel der Innenschichten stark spitzwinklig,

so daß, wenn die einen Platten parallel ihren Fibrillen getroffen sind, die benachbarten Platten nicht direkt ihre Fibrillenquerschnitte

Fig. 24.
Platten der Innenschicht in ihren Hauptflächen (gekreuzte Fibrillen). Vergr. 200×.

zeigen können, sondern daß sich solche Platten durch ihr mattes, dunkles Aussehen auszeichnen.

D. Die Ergebnisse im Vergleich mit den Untersuchungen von Biedermann.

Ein Ergebnis meiner Untersuchungen besteht in dem Nachweis, daß sich unsre Weinbergschnecke in ihrer Schalenstruktur vollkommen den Meeresgastropoden anschließt. Die Schichten setzen sich aus Platten zusammen und diese wieder aus Fibrillen, dem letzten Bauelement. Die Zusammenfassung einer Anzahl von Fibrillen zu Fibrillenbündeln konnte ich deutlich in den beiden Außenschichten beobachten.

Fig. 25.
Stück der zweiten Innenschicht (I_2) aus einem Querschliff parallel den Anwachsstreifen. Vergr. 200×.

Fig. 26.
Bruchfläche eines Innenschichtbruchstückes; die Platten abwechselnd parallel und ungefähr rechtwinklig zu ihren Fibrillen getroffen. Vergr. 200×.

Biedermann hat als erster und einziger Abbildungen der Schalenstruktur von *Helix pomatia* gegeben und zwar ein Stück des wachsenden Schalenrandes, d. h. also die erste Außenschicht von der Fläche betrachtet und einen Flächenschliff durch die eine Innenschicht. Aus dem Verhalten dieser Präparate zwischen gekreuzten Nicols schloß Biedermann auf die etwa vorhandene Struktur. Meine Untersuchungen beweisen vollkommen die von ihm aufgestellte Vermutung betreffs der Struktur. Am ausführlichsten hat Biedermann das Innenschichtpräparat untersucht. Ich gebe am besten seine eigene Darstellung der betreffenden Strukturverhältnisse hier wieder: »Zwischen gekreuzten Nicols entsteht bei Schräglage des Präparates, wobei die Bänder unter einem Winkel von etwa 45° geneigt stehen, ein außerordentlich zierliches Bild, indem je zwei helleuchtende Züge durch einen vollkommen dunklen Zwischenraum getrennt erscheinen. Bei Drehung des Objekttisches verdunkeln sich die hellen Bänder, ohne daß sich die dunklen aufhellen. Die einen verhalten sich dauernd wie eine isotrope, die andern ebenso dauernd wie eine anisotrope Substanz. Da es keinem Zweifel unterworfen sein kann, daß beiderlei Gebilde im wesentlichen aus kohlensaurem Kalk bestehen, so kann der erwähnte optische Unterschied natürlich nur in einer besonderen Struktur bzw. in einer besonderen Lage und Anordnung der kleinsten Teilchen gesucht werden. Durch Wegätzen der äußeren Schichten mittels Säure kann man unter Umständen ganz außerordentlich dünne Lamellen der innersten Schalenschicht gewinnen. Wendet man dann ganz starke Vergrößerungen an, so läßt sich bei günstiger Beleuchtung hier und da ganz unzweifelhaft eine feine, der Achse der Bänder parallele Längsstreifung an jenen Elementen erkennen, welche zwischen gekreuzten Nicols hell erscheinen. Es macht ganz den Eindruck, als ob jedes »Band« wieder aus feinsten Kalkfäserchen zusammengesetzt wäre; und wenn dies auch vielleicht im vorliegenden Falle bezweifelt werden könnte, so werden wir später doch ganz analoge Strukturen — Biedermann meint die Strukturen der Meeresgastropoden — zu besprechen haben, wo jeder Zweifel an dem Vorhandensein eines faserigen Baues ausgeschlossen erscheint. Da sich nun jedes einzelne Kalkfäserchen, dessen kristallinische Natur wohl als sicher gelten darf, optisch wie ein Kalkspatprisma verhalten wird, so würde sich das oben geschilderte Verhalten eines Flächenschliffes durch die Bänderschicht im polarisierten Lichte in einfachster Weise erklären, wenn man annehmen dürfte,

daß die Achsen der Kalkfäserchen in je zwei benachbarten Elementen senkrecht aufeinander stehen, so daß die Richtung der Faserung in den stets dunkel bleibenden Bändern der Achse des Mikroskops parallel verliefe und im Flächenschliffe an den betreffenden Stellen nur Faserquerschnitte vorlägen.«

Ein Blick auf meine Fig. 23, 24, 25 und 26, die Abbildungen der Innenschicht oder Bänderschicht bieten, wird uns von der Richtigkeit und der Berechtigung von BIEDERMANNS Vermutung überzeugen; zu ergänzen ist nur, daß der Kreuzungswinkel der Fasern oder Fibrillen kein rechter, sondern ein spitzer Winkel ist.

Für die erste Außenschicht A_1, die »Stalaktitenschicht«, hat BIEDERMANN ähnliche, kurze Angaben gemacht, die mit meinen morphologischen Ergebnissen übereinstimmen. Ich kann daher vollständig BIEDERMANN zustimmen, wenn er schreibt, »daß in allen wesentlichen Punkten eine völlige Übereinstimmung im Bau der äußeren ‚faserigen' Kalkschichten und der inneren ‚Bänder'- oder richtiger Blätterschicht der *Helix*-Schale besteht«. Dem Nachsatz, »und daß es sich eigentlich nur um allerdings sehr erhebliche Größenunterschiede der einzelnen Elemente handelt«, kann ich nur beipflichten, wenn ich, wie es BIEDERMANN jedenfalls auch getan hat, die erste Außenschicht A_1 mit den Innenschichten J_1 und J_2 vergleiche. Für die zweite Außenschicht A_2 ist das weniger der Fall; ihre Platten gleichen in der Dicke meistens denen der Innenschichten, siehe Idealausschnitt, Fig. 8, wenn ich auch hier gleich betonen möchte, daß ein eigentlicher Maßstab hierfür nicht vorhanden ist, vielmehr variiert die Größe und Stärke der Strukturelemente selbst in derselben Schicht derselben Schale. Meistens besitzen jedoch die Platten der zweiten Außenschicht die größten Hauptflächen (Breite × Länge), so daß alle andern Schichten gegen diese Schicht zurücktreten, siehe Fig. 8.

E. Mechanische Verhältnisse in der Schalenstruktur von Helix pomatia.

In diesem Abschnitte sollen einige Schliffe beschrieben werden, an denen mir Strukturverhältnisse auffielen, die eine Erklärung durch spezielle mechanische Beanspruchung, meiner Ansicht nach, zulassen. Es handelt sich zunächst um Schliffe durch die Ansatzstelle der letzten Windung (*I*) an die vorletzte (*II*), wie Fig. 27 einen solchen darstellt; der Schliff ist natürlich parallel den Anwachsstreifen geführt. Die letzte Windung (*I*) zeigt zwei kräftig pigmentierte (dunkle) Schichten

(A_1 und A_2), darauf folgt eine prismatische Schicht (a), danach eine kleine pigmentierte und schließlich mehrere Lagen heller Innenschicht. Es fällt auf, daß hier mehr Schichten als gewöhnlich vorhanden sind. Einige Schichten der letzten Windung (I) setzen sich nach der Krümmung weiter fort, indem sie sich an die vorletzte Windung (II) an-

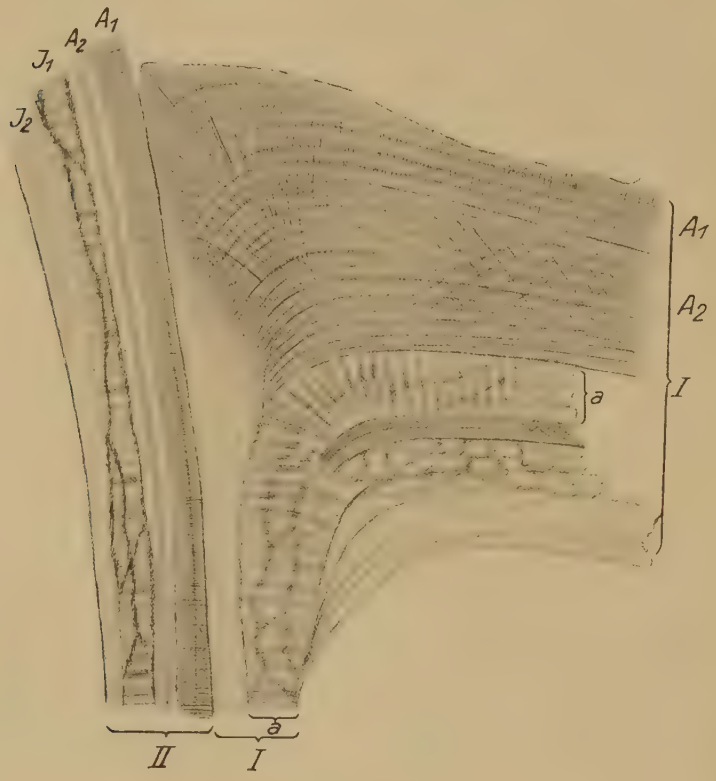

Fig. 27.

Querschliff durch den Ansatz der letzten Windung (I) an die vorletzte (II). A_1 erste, A_2 zweite Außenschicht; I_1 erste, I_2 zweite Innenschicht. a durch ihre mechanischen Verhältnisse auffallende Schicht. Vergr. 48×.

legen. Die Schichten der letzten Windung (I) gehen an der vorletzten Windung (II) weiter, nachdem sie vorher eine kräftige Krümmung erfahren haben. Eigenartig ist es, daß die beiden äußeren Schichten (A_1 und A_2) kein Pigment mehr besitzen von der Stelle ab, wo sie der vorletzten Windung (II) anliegen. Letztere besitzt eine Struktur, wie sie für einen Querschliff parallel den Anwachsstreifen typisch ist: zwei äußere Schichten A_1 und A_2 und zwei innere Schichten J_1

und J_2. Besonders fiel mir die Schicht *a* der letzten Windung (*I*) auf; ihre Plattenquerschnitte, in der Abbildung prismatisch, liegen sämtlich senkrecht zur Drucklinie, sie sind in die Richtung der Krümmungsradien der Biegungskurve eingestellt. Ihre Anordnung erinnert lebhaft an die Lage der Bogenbegrenzungssteine einer Steinbrücke.

Einen feineren Schliff durch die Ansatzstelle der letzten Windung an die vorletzte (*II*) bietet uns Fig. 28. Auffallend stark entwickelt ist das Periostracum (*per*) der vorletzten Windung (*II*); von der letzten Windung ist nur ein Stück der zweiten Außenschicht vor-

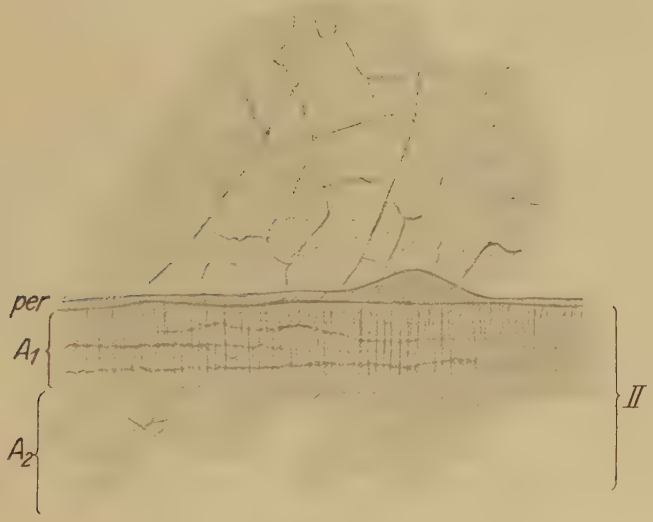

Fig. 28.

Ansatzstelle der letzten Windung an die vorletzte (*II*). *per* Periostracum; A_1 erste, A_2 zweite Außenschicht. Vergr. 166×.

handen, das über dem Periostracum ruht. Die vorletzte Windung (*II*) besitzt eine erste äußere, scheinbar prismatische Schicht A_1 und eine zweite äußere Schicht A_2 mit eigenartig gebogenen (vielleicht mechanisch bedingt!) Fibrillen.

Ein weiteres Bruchstück von demselben Schliff wie der Ansatz in Fig. 28 zeigt uns Fig. 29. Wir sehen hier ein Stück der zweiten Außenschicht, das nach der Ansatzstelle zu an Breite zunimmt. Unten im Bild verlaufen die sich kreuzenden Fibrillen geradlinig, nach oben, der Ansatzstelle zu, treten allmählich krummlinig gebogene Fibrillen auf. Diese Tatsache, diesen krummlinigen Fibrillenverlauf, konnte

ich an allen genügend dünnen Querschliffen durch die Ansatzstelle der letzten Windung an die vorletzte beobachten. Künstlich kann man diese Krümmung nachahmen, indem man sich auf einem Gummi sich kreuzende gerade Linien zeichnet; biegt man das Stück Gummi, so tritt jene charakteristische Fibrillenkrümmung auf, so daß ich vermute, daß jene Fibrillenkrümmung mechanisch bedingt ist infolge der Biegung der letzten Windung durch die Schwere des Gehäuses.

Fig. 29.

Bruchstück der zweiten Außenschicht (A_2) der letzten Windung aus der Nähe der Ansatzstelle. Krümmung der Fibrillen. Vergr. 200×.

Im Prinzip gleicht der Schicht *a* in Fig. 27 die zweite Außenschicht A_2 in Fig. 30, die einen Schliff senkrecht zu den Anwachsstreifen darstellt. Der Schliff geht hier durch eine pathologische Änderung, eine starke Knickung der Schale, bewirkt jedenfalls durch äußere Einflüsse. Auch hier sind die Plattenquerschnitte von A_2, prismatisch, senkrecht zur Drucklinie gerichtet. Auch die Schliffe in Fig. 14 bzw. Fig. 31 zeigen ähnliche Verhältnisse von A_2 bzw. A_4.

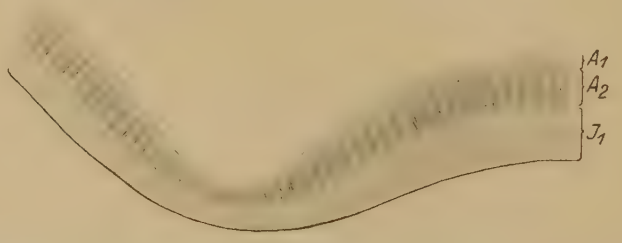

Fig. 30.

Querschliff, senkrecht zu den Anwachsstreifen, durch eine Einknickung in der Schale. A_1 erste, A_2 zweite Außenschicht, deren mechanische Verhältnisse auffallen; I_1 erste Innenschicht. Vergr. 40×.

Ich habe in diesem Abschnitt nur angedeutet, welche Bildungen in der Schalenstruktur etwa besonderen mechanischen Verhältnissen

entsprechen können. Es müßte dieses Problem mit Hilfe von Versuchen noch näher untersucht werden, mit Aussicht auf Erfolg jedenfalls an den grob strukturierten Gehäusen der Meeresschnecken. Ich hoffe jedoch, einen Beitrag zur mechanischen Auffassung gewisser Verhältnisse der Gastropodenschalenstruktur geliefert zu haben, und glaube somit die Ansicht Biedermanns unterstützen zu können: »Es bedarf kaum eines Hinweises, daß es sich in allen diesen Fällen um funktionelle Strukturen im Sinne von Roux handelt, welche sich in Anpassung an die im gegebenen Falle wirkende mechanische Beanspruchung entwickelt haben.«

6. Schalenperlenartige Bildungen.

Angeregt durch die im hiesigen Institut ausgeführten Perlenuntersuchungen von Rubbel und Alverdes, suchte ich festzustellen,

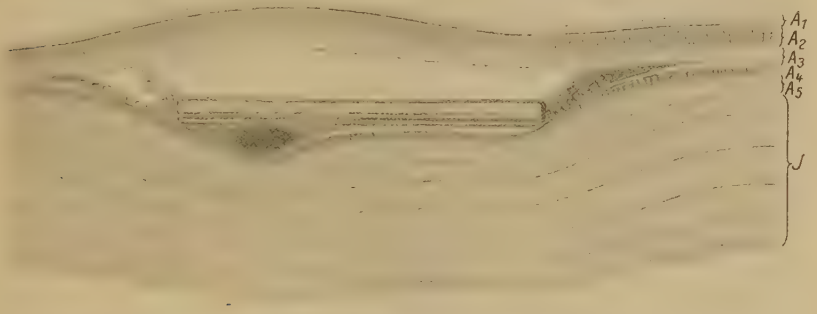

Fig. 31.

Schliff durch eine Schalenperle; siehe Text. A_1 erste, A_2 zweite, A_3 dritte, A_4 vierte, A_5 fünfte Außenschicht; I Innenschicht. Vergr. 30×.

ob nicht unsre Weinbergschnecke dazu befähigt ist, wenigstens Schalenperlen zu bilden, d. h. zwischen Schale und Mantel befindliche Fremdkörper mit Schalenschichten zu überziehen und so unschädlich zu machen. So konnte ich denn auch beobachten, daß erdige Teile in die Schale aufgenommen waren, an einem Schliff (Fig. 31) war sogar ein Schalenstückchen, wahrscheinlich von derselben Schale, aufgenommen. Die zweite Außenschicht A_2, hier scheinbar prismatisch, ist von zwei bandartigen Schichten A_1 und A_3 umgeben. In eine große Lücke der A_3-Schicht ist das Schalenstückchen eingelagert, rechts und links von ihm sieht man noch sphäritenartige Gebilde zu Ketten nebeneinander liegen. Unter der Schicht A_3 liegt eine kurz prismatische A_4 und darunter eine bandartige A_5. Die als bandartig bezeichneten Schichten zeigen bei stärkerer Vergrößerung Fibrillen-

kreuzung. Auf die Außenschichten, die an Zahl den Durchschnitt übertreffen, folgt die Innenschicht von nie beobachteter Stärke. Sechs Lagen lassen sich unterscheiden; bei gewöhnlichem Licht läßt sich nichts über ihre Struktur aussagen, nach dem Verhalten im polarisierten Licht vermute ich schräg angeschliffene, aus Fibrillen bestehende Platten.

Brachte ich durch eine künstlich hergestellte Öffnung in der letzten Schalenwindung Fremdkörper zwischen Mantel und Schale, so wurden diese in kurzer Zeit mit Schalenschichten überzogen. Mit Säure wurde zunächst eine Stelle der letzten Windung verdünnt, dann ein Loch gebrochen und durch dieses der Fremdkörper eingeschoben, dann die Umgebung des Loches mit Alkohol desinfiziert und schließlich kleine Verbandstreifen mit Collodium darübergeklebt. Die beigebrachten und nachher überzogenen Fremdkörper waren Fischchen, vorher in Alkohol konserviert, Schalenstückchen, Strohhalme. Das nebenan abgebildete Fischchen (Fig. 32) wurde in 14 Tagen überzogen. Korschelt hat eine ähnliche Abbildung von einer Perlmuschelschale mit überzogenem Fischchen gegeben. An *Haliotis* machte Boutan ähnliche Versuche, indem er eingeführte Kügelchen aus Perlmuttersubstanz von einer irisierenden Perlmutterschicht überziehen ließ. Cooke hat ein im Britischen Museum aufbewahrtes Stück Schale von *Helix rosacea* mit aufgenommenem Strohhalm abgebildet. Bekanntlich werden ja auch stehengebliebene Winterdeckelreste von Schalensubstanz überzogen und so der Schale einverleibt.

Fig. 32.
Schalenbruchstück mit überzogenem Fischchen. Vergr. 2×.

Ein Versuch, den ich mit den Schalen zweier Schnecken machte, spricht für eine außerordentliche Festigkeit von Regeneraten. Besonders ausführlich ist die Regenerationsfähigkeit der Gastropoden von Techow beschrieben worden. An zwei Schneckenschalen nahm ich entsprechende Stücke heraus, drückte die beiden Gehäuse an die-

sen Stellen fest zusammen, klemmte sie fest und ließ nun die Schnecken mehrere Wochen in dieser Stellung verharren. Das nun gebildete Regenerat hält beide Schnecken fest zusammen, sie leben scheinbar in Parabiose. Meist geht jedoch eine der Schnecken ein, so daß nachher die überlebende Schnecke das leere Haus der andern mit sich herumträgt. Eine solche Schnecke trug über 3 Monate ein leeres Haus, bis sie Anfang des Winters durch Erfrieren einging; die beiden übriggebliebenen Gehäuse zeigt in ihrer charakteristischen Lage Fig. 33.

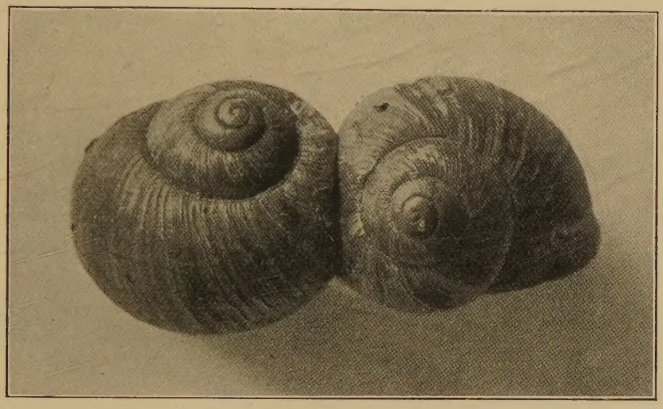

Fig. 33.
Zwei durch gemeinsames Regenerat zusammengehaltene Schneckenschalen. Nat. Gr.

7. Chemische Zusammensetzung der Schale.

Nach Döring enthält die Schale von *Helix pomatia* (nach Bütschli auf zwei Dezimalen abgekürzt):

Kohlens. Kalk	97,57
Phosphors. Kalk	0,02
Kiesels. Kalk	0,20
Kohlens. Magnesia	0,08
Alkalien	0,11
Eisenoxyd	0,04
Manganoxydul, Kali, Strontium	Spuren
Organische Substanz	1,77.

Nach Bütschli ist die *Helix*-Schale ein Aragonitgebilde.

Zum Schlusse sei es mir gestattet, Herrn Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. E. Korschelt, auf dessen Anregung ich diese Arbeit vornahm, für seine jederzeit bereite Unterstützung meinen herzlichsten Dank auszusprechen. Auch den Herren Prof. Dr. C. Tönniges und Privatdozenten Dr. Harms bin ich für die Ratschläge, die sie mir während der Ausführung der Untersuchungen zuteil werden ließen, zu Dank verpflichtet.

Marburg i. H., Februar 1914.

Literatur.

1. Alverdes, F. Versuche über die künstliche Erzeugung von Mantelperlen bei Süßwassermuscheln. Zool. Anz., Bd. XLII. 1913.
2. K. Beck, Anatomie deutscher Buliminus-Arten. Diss. Jena 1912, auch Jenaische Ztschr. f. Naturw. Bd. XLVIII. 1912.
3. W. Biedermann, Untersuchungen über Bau und Entstehung der Molluskenschalen. Jenaische Ztschr. Bd. XXXVI. 1901.
4. — Über die Bedeutung von Kristallisationsprozessen bei der Bildung der Skelette wirbelloser Tiere, namentlich der Molluskenschalen. Ztschr. f. allgem. Physiologie. Bd. I. 1902.
5. — Geformte Sekrete. Ebenda. Bd. II. 1903.
6. — Physiologie der Stütz- und Skelettsubstanzen im Handbuch der vergl. Physiologie, herausgeg. von H. Winterstein.
7. Graf E. de Bournon, Traité complet de la chaux carbonatée et de l'aragonite. 3 vols. London 1808. Auszug von Nöggerath in Troschels Archiv f. Naturgesch. Jahrg. 15. 1849.
8. L. Boutan, Production artificielle des perles chez les Haliotis. Compt. rend. Acad. Paris. T. CXXVII. 1898.
9. J. S. Bowerbank, On the structure of the shells of molluscous and conchiferous animals. Transact. of the microsc. Soc. Vol. I. 1844.
10. Bütschli, O. Untersuchungen über organische Kalkgebilde. Abhdl. d. K. Ges. d. Wiss. zu Göttingen. Math.-physik. Kl. N. F. 6. 1910.
11. — Referat über die Arbeit von Biedermann, Über Bau und Entstehung der Molluskenschalen. Zool. Centralblatt. VIII. Jahrg. 1901.
12. Cooke, Mollusca in The Cambridge Natural History.
13. A. Döring, Bemerkungen über die Bedeutung und Untersuchungen über chemische Zusammensetzung der Pulmonatenschale. Diss. Göttingen 1872.
14. W. Flössner, Zur Kenntnis der Schalenstruktur von Helix pomatia. Zool. Anz. Bd. XLIII. Nr. 10. 1914.
15. A. Jacobi, Anatomische Untersuchungen an malayischen Landschnecken (Amphidromus chloris u. A. interruptus). Arch. f. Naturgesch. LXI. 1896.
16. E. Korschelt, Perlen. Fortschritte der Naturwiss. Forschung (herausg. v. E. Abderhalden). Bd. VII. 1912.

17. E. Korschelt, Perlen und Perlenbildung. Im Handwörterbuch der Naturwissenschaften.
18. F. Leydig, Die Hautdecke und Schale der Gastropoden. Arch. f. Naturgesch. Bd. XLII. 1876.
19. Longe et Mer, De la formation de la coquille dans les Hélix. Compt. rend. Acad. Paris. T. XC. 1880.
20. Joh. Meisenheimer, Die Weinbergschnecke. Leipzig 1912.
21. A. Nalepa, Beiträge zur Anatomie der Stylommatophoren. Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wiss. zu Wien. Bd. LXXXVII. 1883.
22. W. von Nathusius-Königsborn, Über die Hüllen, welche den Dotter des Vogeleies umgeben. Ztschr. f. wiss. Zool. Bd. XVIII. 1868.
23. — Untersuchungen über nichtcelluläre Organismen. Berlin 1877.
24. R. Rassbach, Beiträge zur Kenntnis der Schale und Schalenregeneration von Anodonta cellensis. Ztschr. f. wiss. Zool. Bd. CIII. 1912.
25. G. Rose, Über die heteromorphen Zustände der kohlensauren Kalkerde. Abhandl. d. Akad. d. Wiss. Berlin 1858.
26. A. Rubbel, Über Perlen und Perlenbildung bei Margaritana margaritifera. Zool. Jahrb. Abt. f. Anat. Bd. XXXII. 1911.
27. H. Simroth, Mollusken in Bronns Klassen und Ordnungen des Tierreiches.
28. G. Techow, Zur Kenntnis der Schalenregeneration bei den Gastropoden. Arch. f. Entw.-Mech. Bd. XXXI. 1910.
29. T. Tullberg, Über den Bau und das Wachstum des Hummerpanzers und der Molluskenschale. Kongl. Svensk. Vetensk. Akad. Handl. Bd. XIX. 1882.

Lebenslauf.

Ich, Wilhelm Moritz Flössner, evangelisch, preußischer Staatsangehöriger, geboren am 26. November 1890 zu Wiesbaden als Sohn des Kaufmanns Franz Flössner, besuchte die Vorschule und dann die Oberrealschule meiner Vaterstadt, wo ich Ostern 1909 die Reifeprüfung unter Befreiung vom mündlichen Examen bestand. Ich bezog die Universität Marburg, um Mathematik und Naturwissenschaften zu studieren. Mein Lieblingsfach war Zoologie. Zwei Semester (W.-S. 1910/1911 und S.-S. 1911) studierte ich in Berlin, setzte dann mein Studium in Marburg fort, wo ich am 22. Juni 1914 das Doktorexamen bestand. Das Hauptfach war Zoologie und vergleichende Anatomie, die Nebenfächer waren: Botanik und Physik. Am Beginn des Krieges meldete ich mich als Kriegsfreiwilliger und wurde im Sanitätsdienst verwendet.

Meine Lehrer waren: in Zoologie und vergleichender Anatomie: Harms, Heymons, Korschelt, F. E. Schulze, Veit; in Botanik: Diels, Engler, Kny, A. Meyer, Wittmack; in Physiologie: Schenck, Lohmann; in Physik: Feussner, Krigar-Menzel, Richarz, F. A. Schulze, Take.

Druck von Breitkopf & Härtel in Leipzig.